

# LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

PARTIE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE  
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GENIE CIVIL – OPERE CIVILI

METHODES DE CONSTRUCTION EN SOUTERRAIN – METODOLOGIA COSTRUTTIVA IN  
SOTTERRANEO

TUNNEL DE BASE - COTE ITALIE – TUNNEL DI BASE - LATO ITALIA

RAPPORT DESCRIPTIF SUR LA LOGISTIQUE POUR LA CONSTRUCTION DES OUVRAGES  
SOUTERRAINS – RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELLA LOGISTICA PER LA COSTRUZIONE DELLE  
OPERE IN SOTTERRANEO

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/01/2013	Première diffusion / Prima emissione	C. KAUFFMANN (BG) C. SALOT (BG)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	15/02/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF	C. SALOT (BG)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	15/11/2016	Première émission PRV – révision générale / Prima emissione PRV – revisione generale	G. QUESTI (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
C	27/01/2017	Révision suite aux commentaires de TELT / Revisione a seguito commenti TELT	G. QUESTI (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
D	16/03/2017	Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI

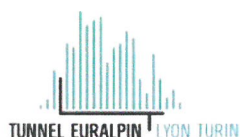


CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>A</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>D</b>
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	<b>PRV</b>	<b>//</b>	<b>//</b>	<b>33</b>	<b>02</b>	<b>02</b>	<b>10</b>	<b>03</b>
------------------------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>ECHELLE / SCALA</b>



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet  
est cofinancé par  
l'Union européenne  
(DG-TREN)



Questo progetto  
è cofinanziato  
dall'Unione europea  
(TEN-T)

## SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO .....	4
1. INTRODUZIONE .....	5
1.1 Generalità.....	5
2. DOCUMENTI DE RIFERIMENTO .....	5
2.1 Quadro normativo di riferimento.....	5
2.2 Documenti di progetto .....	5
3. DESCRIZIONE DELL' AREA DI SICUREZZA DI CLAREA .....	5
3.1 Fase definitiva.....	5
3.2 Fase cantiere .....	7
3.3 Cantiere sotterraneo di Clarea.....	7
3.4 Gallerie di accesso al sito di Clarea .....	9
4. TUNNEL DI BASE E GALLERIA MADDALENA 2.....	11
4.1 Scavo del tunnel di base in tradizionale dalla pk 52+598 alla pk 53+417 .....	11
4.2 Scavo del tunnel di base con TBM dalla pk 53+514.80 alla pk 60+711 circa .....	12
4.3 Scavo del tunnel di base oltre alla pk 60+711 circa .....	12
4.4 Scavo rami del tunnel di base .....	12
4.5 Sezioni in fase di cantiere .....	12
5. CADENZE .....	15
5.1 Nastri trasportatori .....	15
5.2 Treno di servizio .....	16
6. TRASPORTO DEI MATERIALI E DEL PERSONALE.....	17
6.1 Smarino.....	17
6.2 Materiali per cls .....	17
6.3 Altri materiali.....	18
6.4 Trasporto del personale.....	18
7. EVACUAZIONE DELLE ACQUE DI INFILTRAZIONE.....	19

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1: Planimetria generale delle gallerie nella zona di Maddalena-Clarea-Tunnel di base .....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2: Sezione della galleria in linea con marciapiede .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 3: Planimetria nell'area di Clarea in fase di cantiere .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 4: Sezione della galleria della Maddalena 1 in fase di cantiere .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 5: Sezione della galleria di connessione 2 in fase di cantiere .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 6: Sezione della galleria della Maddalena 2 in fase di cantiere .....</b>	<b>14</b>

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1 – Calcolo della cadenza massima per una tbm in t/ora .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabella 2 – Calcolo della cadenza media di scavo per due tbm in t/ora .....</b>	<b>15</b>

<b>Tabella 3</b> – Calcolo delle cadenze medie di scavo in t/ora per 3 fronti in D&B.....	15
<b>Tabella 4</b> – Ipotesi .....	16
<b>Tabella 5</b> – Calcoli della durata necessaria ad un ciclo medio di scavo .....	16
<b>Tabella 6</b> – Ipotesi .....	16
<b>Tabella 7</b> – Calcoli della durata necessaria ad un ciclo di trasporto .....	16

## RESUME/RIASSUNTO

Le présent rapport a comme objectif de décrire et motiver les choix effectués quant au transport des matériaux en souterrain nécessaires à la réalisation de la section transfrontalière de la nouvelle ligne ferroviaire Lyon-Turin pour le tronçon réalisé depuis le coté Italie.

Compte tenu des matériaux provenant des excavations, des capacités de stockage en galerie et des matériaux nécessaires à la construction, les diverses méthodes de transport en souterrain sont exposées.

Le transport des matériaux d'excavation et des granulats s'effectuera en majorité par convoyeur.

Pour le dimensionnement des convoyeurs de transport de déblais, on a tenu compte des vitesses maximales prévues en phase d'excavation, en distinguant les avancements en traditionnel (D&B) des avancements au tunnelier (TBM).

La presente relazione ha l'obiettivo di descrivere e motivare le scelte effettuate per quanto riguarda il trasporto dei materiali in sotterraneo necessari alla realizzazione della sezione transfrontaliera della nuova linea Torino-Lione realizzato dal lato Italia.

Si sono esposti i diversi metodi di trasporto in sotterraneo tenendo conto dei materiali provenienti dallo scavo, delle capacità di stoccaggio in galleria e dei materiali necessari alla costruzione.

Il trasporto dei materiali di scavo e degli aggregati si effettuerà principalmente con nastri trasportatori.

Per il dimensionamento dei nastri trasportatori dello smarino, si è tenuto conto delle velocità massime previste in fase di scavo, distinguendo gli avanzamenti in tradizionale (D&B) dagli avanzamenti con fresa (TBM).

## 1. Introduzione

### 1.1 Generalità

Lo scopo della presente relazione è quello di presentare ed illustrare le diverse metodologie costruttive e le logistiche da adottare ai lavori in sotterraneo da realizzare dal lato italiano della sezione transfrontaliera della linea ferroviaria Torino-Lione, in particolare le gallerie di connessione 1 e 2, la galleria Maddalena 2, l'area di sicurezza di Clarea ed i fronti d'attacco del Tunnel di Base.

### 1.1 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato

Rispetto al Progetto Definitivo Approvato, sono modificati gli elementi seguenti :

- Fasaggio di realizzazione: Il Tunnel di Base che lato Italia viene interamente scavato dal cantiere di Maddalena;
- Nuove opere: La galleria Maddalena 2 sostituisce la galleria di Val Clarea e viene scavata con la fresa oggetto di questa relazione per buona parte della tratta.

## 2. Documenti di riferimento

### 2.1 Quadro normativo di riferimento

Il quadro normativo di riferimento è trattato nell'allegato 4.1 del Dossier Preliminare della Sicurezza (documento PRF\_C1\_0003\_00-00-00\_10-03).

### 2.2 Documenti di progetto

I documenti di riferimento per la presente relazione sono i seguenti:

- PRV-C3A-TS3-6450 Planimetria di organizzazione in fase di cantiere;
- PRV-C3A-TS3-6451 Sezioni in fase di cantiere;
- PRV-C3A-TS3-6452 Fasaggio di costruzione dell'area di sicurezza di Clarea;
- PRV-C3A-TS3-0886 Relazione ventilazione e raffreddamento Tunnel di Base;
- PRV-C3A-TS3-7760 Relazione descrittiva relativa al fasaggio;
- PRV-C3A-TS3-0880 Relazione illustrativa sui metodi di scavo;
- PRV-C3A-TS3-0896 Scavo meccanizzato con fresa.

## 3. Descrizione dell'area di sicurezza di Clarea

### 3.1 Fase definitiva

In fase definitiva, l'area di sicurezza di Clarea comprende le due gallerie in linea del TdB, la galleria intertubo con sala d'accoglienza, la caverna tecnica, i rami di connessione e i serbatoi di raccolta. Essa rimarrà accessibile grazie alla galleria di connessione con la galleria della Maddalena 1. Dal punto di vista aerolico, l'area di sicurezza è collegata alla galleria della Maddalena 2 grazie alla galleria di connessione 2.



### 3.2 Fase cantiere

La problematica principale della logistica in fase cantiere è la gestione dell'evacuazione del marino e l'approvvigionamento del cantiere in materiali ed attrezzature, in maniera da limitare i flussi di trasporto tra la superficie e il sotterraneo. Per i dettagli sul fasaggio di costruzione, si veda la relazione PRV\_C3A\_7760\_33-02-02\_10-06.

Le gallerie Maddalena 1 e Maddalena 2 permetteranno il collegamento tra i vari fronti di scavo e la superficie, in cui transiteranno dunque l'insieme delle attrezzature e dei materiali necessari ai lavori di scavo.

### 3.3 Cantiere sotterraneo di Clarea

La caverna tecnica, per via della sua grande dimensione, è il luogo privilegiato per la logistica di cantiere per i fronti scavati in tradizionale (D&B). Permetterà di ospitare le installazioni più importanti e sarà la zona privilegiata per lo stoccaggio. Le aree di stoccaggio dovranno essere opportunamente delimitate e segnalate, in maniera da permettere il traffico dei mezzi di cantiere in sicurezza.

Le installazioni dell'area di Clarea dovranno comprendere:

- Varie zone di stoccaggio
- Una centrale di betonaggio ed una cabina di comando preposta
- Trasformatori
- Un'officina
- Un impianto mobile di frantumazione
- ...

La centrale di betonaggio sarà installata in sotterraneo nella caverna tecnica in modo da servire le diverse necessità in fase di scavo. L'approvvigionamento in aggregati viene effettuato tramite nastro trasportatore attraverso la galleria della Maddalena 1 e la galleria di connessione 1. La cabina di comando così come il suo trasformatore saranno anch'essi posizionati nella caverna tecnica. Per facilitare la manovra dei mezzi di trasporto, il ramo est per veicoli bimodali dovrà essere scavato in una prima fase.

Durante le fasi di costruzione, lo stoccaggio dei materiali di sostegno (reti elettrosaldate, bulloni, ancoraggi, ecc.) si potrà fare direttamente nella galleria in corso di scavo. I materiali di costruzione depositati dovranno comunque essere sistematicamente identificati e protetti.

Per limitare i flussi di mezzi motorizzati, lo smarino avverrà tramite nastro trasportatore attraverso la galleria Maddalena 2. Un impianto di frantumazione primario situato nella caverna tecnica alimenterà direttamente questo nastro.

Lo scavo del sito di Clarea è realizzato all'esplosivo. La sezione tipo delle gallerie nell'area di Clarea è ripresa nelle figure 3 e 4. In particolare si prevedono:

- Riempimento provvisorio della parte bassa
- Camminamento pedonale
- Ventilazione
- Sottoservizi

Per facilitare il transito di uomini e mezzi, durante l'avanzamento si getterà una platea o si riempirà con materiale di scavo la zona all'arco rovescio, si prevederà una canaletta centrale, in modo da permettere la raccolta delle acque di ruscellamento e la loro traslazione sino all'impianto di pompaggio via la galleria Maddalena 2 e la galleria di connessione 2. Le sezioni sono configurate in modo da accogliere l'insieme degli elementi necessari allo scavo delle gallerie, della logistica dei materiali, delle attrezzature e delle persone.

Le reti secche e umide, un'illuminazione specifica, così come il trasformatore associato (vedi sezioni) saranno fissate a paramento.

L'insieme di queste installazioni saranno disposte su dei sostegni che permettono di proteggerle e stocarle in modo ordinato.

Un passaggio pedonale, di larghezza minima di 80 cm, sarà sistematicamente disposto lungo uno dei paramenti. Quest'ultimo sarà protetto da un parapetto composto da paletti, da un listello intermedio, da uno inferiore e da un mancorrente. Nel caso in cui una rete si trovasse sullo stesso lato di un passaggio pedonale, questa deve essere protetta e resa inaccessibile. L'insieme dovrà garantire la sicurezza del personale.

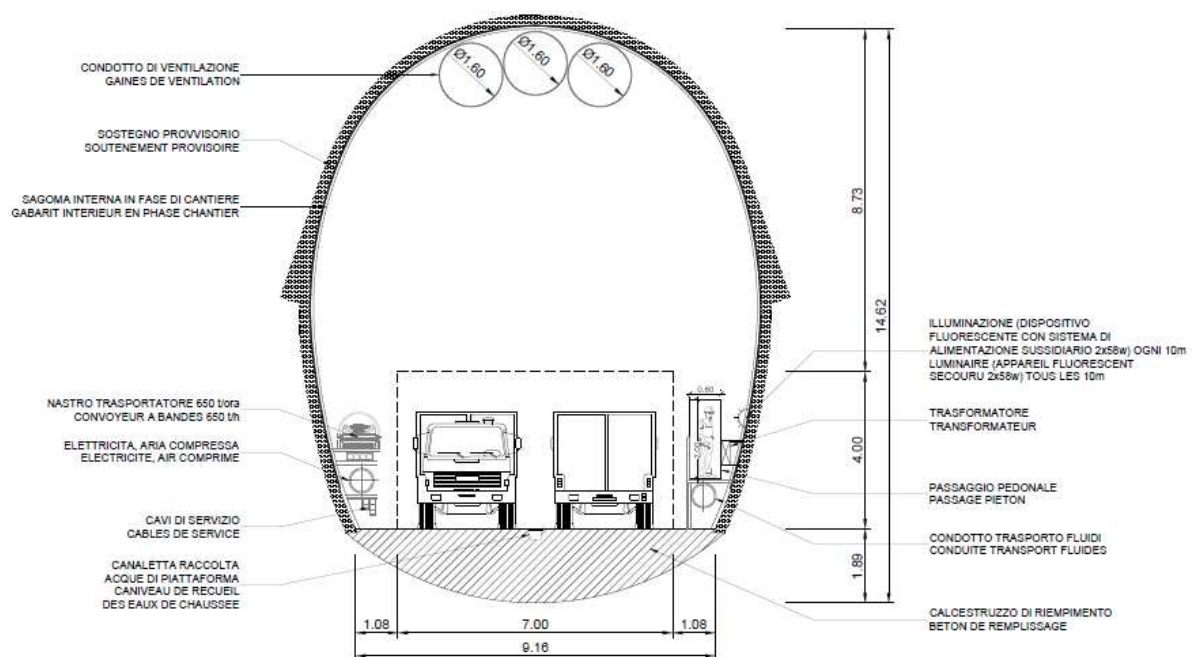


Figura 2: Sezione della galleria in linea con marciapiede

Una volta scavato l'insieme dell'area di sicurezza, le TBM aperte provenienti da Modane saranno smontate all'estremità ovest dell'area di sicurezza.





Figura 3: Planimetria nell'area di Clarea in fase di cantiere

### 3.4 Gallerie di accesso al sito di Clarea

Lo scavo della galleria Maddalena 1 sarà già stato realizzato all'inizio dei lavori e sarà stato realizzato parzialmente all'esplosivo e, per la maggior parte, con TBM.

La galleria di Maddalena 1 e la prima parte della galleria di connessione 1 si distinguono dalle altre gallerie per via della loro larghezza limitata. In particolare, per renderla idonea allo scavo del sito di sicurezza di Clarea, si prevedono le lavorazioni seguenti:

- Riempimento provvisorio della parte bassa
- Realizzazione delle nicchie di incrocio e parcheggio veicoli
- Realizzazione del camminamento pedonale
- Installazione del condotto di ventilazione
- Installazione dei sottoservizi
- Installazione del nastro trasportatore

- Installazione dei collettori di evacuazione acque

Al punto di corda molle della galleria è prevista una zona di rilancio delle acque di drenaggio (già realizzata in fase di scavo della galleria stessa e da mantenere in fase di cantiere).

L'insieme delle gallerie, salvo la galleria Maddalena 1 e la galleria di connessione 1, permetterà la circolazione dei veicoli a doppio senso. Si dovrà porre in opera una segnaletica specifica. Lungo la galleria Maddalena 1 e la galleria di connessione 1 sono previste delle nicchie di incrocio, con inderdistanza massima di 400 m, per i veicoli provenienti in senso opposto.

La galleria Maddalena 1 e la galleria di connessione 1 sono dedicate alla circolazione dei veicoli leggeri e all'passaggio delle rete.

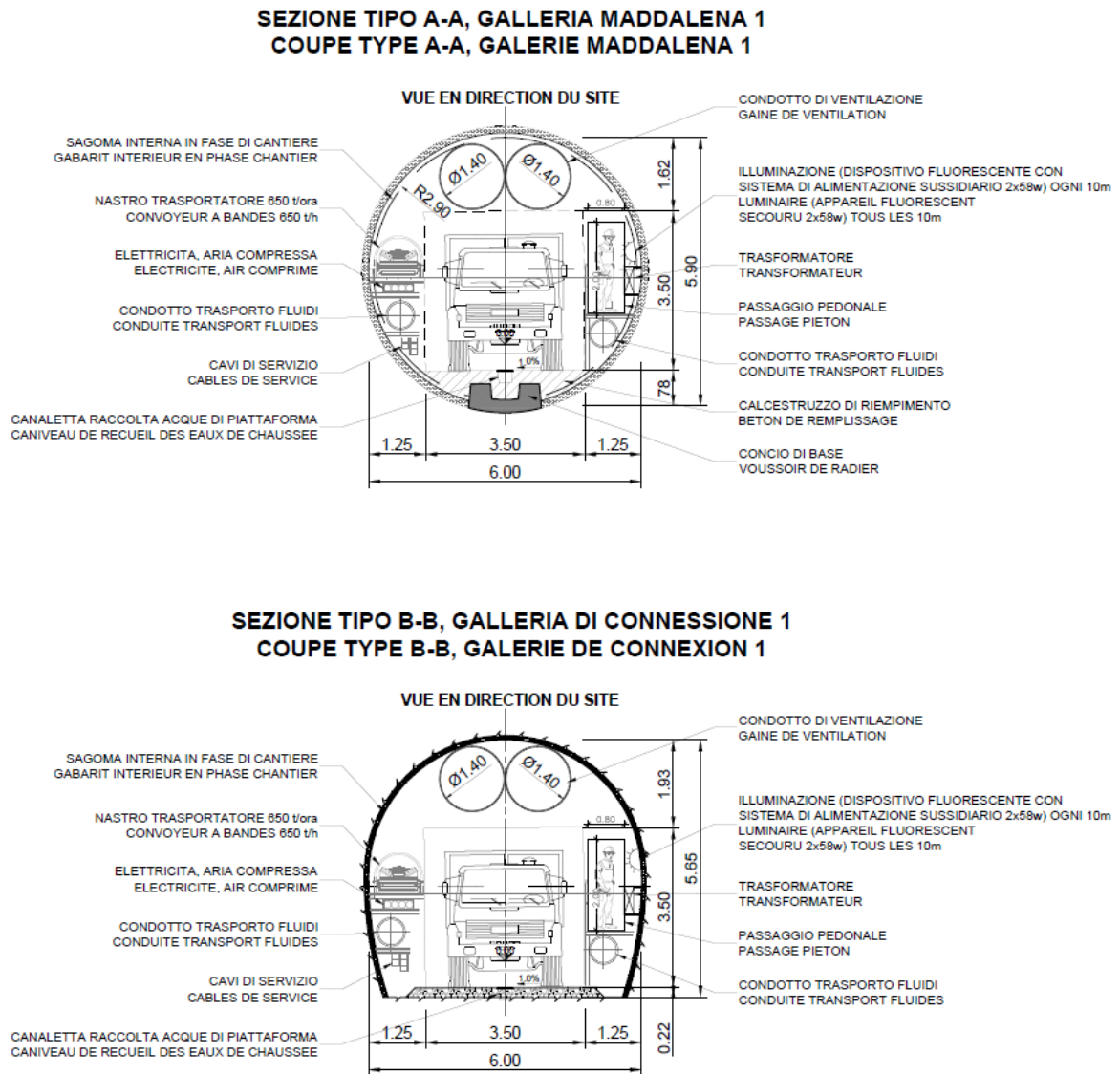


Figura 4: Sezione della galleria della Maddalena 1 in fase di cantiere

La galleria di connessione 2 che collega l'area di sicurezza di Clarea al cantiere di Maddalena tramite la galleria di Maddalena 2, accoglie tubi di ventilazione, un vano traffico per gli approvvigionamenti del cantiere logistico, un vano pedonale, un nastro trasportatore per i materiali estratti e un nastro trasportatore per l'approvvigionamento del cantiere sotterraneo in aggregati. Per questioni di sicurezza la sagoma di passaggio minima di 6,00m x 4,00m dovrà essere sistematicamente rispettata.

La ventilazione delle gallerie si farà per depressione con dei condotti di diametro 1,60 m fissati in calotta. Le caratteristiche tecniche di queste ultime così come il dimensionamento delle installazioni necessarie alla ventilazione sono presentate nella relazione PRV\_C3A\_0886\_33-02-02\_10-02 « Relazione descrittiva e giustificativa sulle esigenze di ventilazione e raffreddamento in fase di costruzione ».

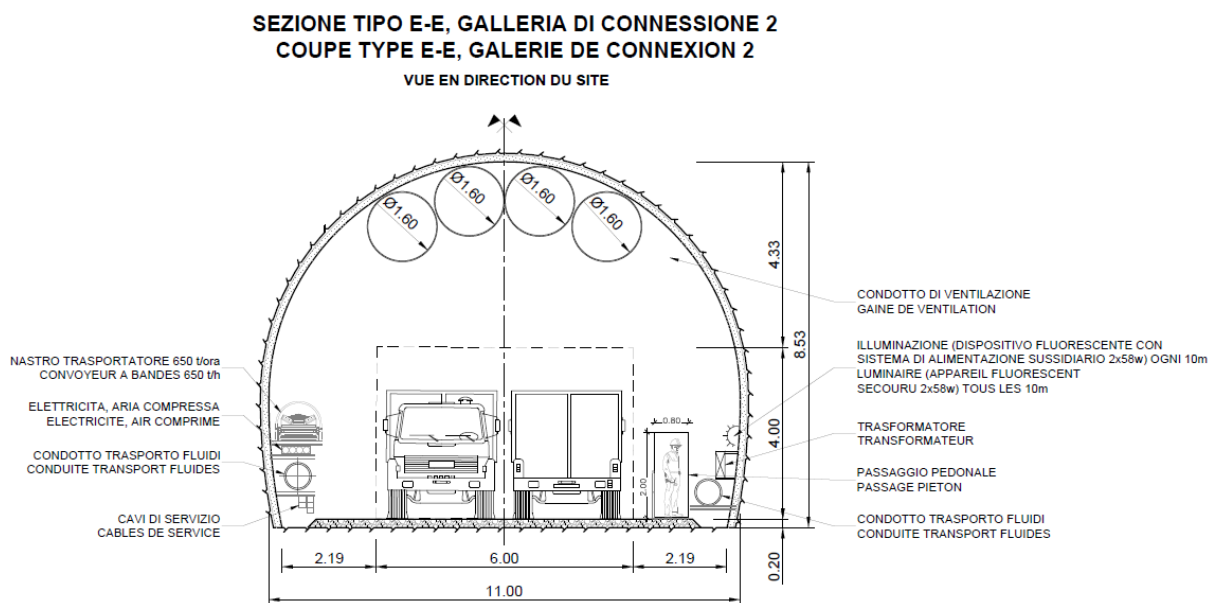


Figura 5: Sezione della galleria di connessione 2 in fase di cantiere

I rivestimenti definitivi della gallerie di accesso (Maddalena 1 e gallerie di connessione) sono realizzati in fase finale, una volta terminati tutti i lavori dell'area di sicurezza e del Tunnel di Base (compreso lo stoccaggio delle rocce verdi).

#### 4. Tunnel di base e galleria Maddalena 2

Lo scavo del Tunnel di base dalla pk 52+598 alla pk 61+076.53 si effettuerà a partire dall'area di cantiere situata a Maddalena.

##### 4.1 Scavo del tunnel di base in tradizionale dalla pk 52+598 alla pk 53+417

Tra l'area di sicurezza di Clarea e l'innesto del tunnel di base con la galleria della Maddalena 2, le due canne del tunnel di base sono scavate con metodo tradizionale su una lunghezza di circa 800 m del BP (dalla pk 52+598 alla pk 53+417) e 1000 m del BD (dalla pk 52+598 alla pk 53+650), in direzione Francia-Italia.

#### **4.2 Scavo del tunnel di base con TBM dalla pk 53+514.80 alla pk 60+711 circa**

A partire dalla zona di innesto tra la galleria della Maddalena 2 e l'asse del TdB, si realizzano le due gallerie del tunnel di base in direzione di Susa. Per quanto riguarda il BP, esso viene scavato con la medesima fresa utilizzata per la galleria della Maddalena 2 che, una volta raggiunta la posizione, continua lo scavo lungo l'asse del TdB. Per il BD, viene realizzato un ramo di comunicazione tra le due canne e una caverna di montaggio della fresa, che verrà appunto montata in sotterraneo a differenza della fresa della Maddalena 2 che è montata all'esterno.

In questa tratta, il tunnel di base viene realizzato con fresa convertibile slurry-open mode.

Nella tratta sotto il cenischia (pk 57+400 a pk 55+950) lo scavo si fa in modalità confinata. A causa dell'elevato battente idrico si è optato per una modalità slurry che, previo opportuni accorgimenti, consente scavi sino a 6 bar.

Lo smarino sarà evacuato in superficie principalmente via nastro trasportatore a partire dall'inizio dello scavo con fresa (pk 53+514.80), salvo nella zona dove viene realizzato lo scavo in modalità slurry dove l'evacuazione si farà in condotto idraulico (almeno parzialmente). Il nastro sarà dimensionato secondo la quantità di smarino estratta, dunque secondo la velocità di avanzamento della TBM.

L'insieme dei materiali necessari ai lavori di scavo saranno portati al fronte con un treno su gomma:

#### **4.3 Scavo del tunnel di base oltre alla pk 60+711 circa**

La tratta del Tunnel di Base tra la progressiva 60+711 c.a. e l'imbocco è scavata in rocce verdi con rischio di materiali fibrosi. Per la realizzazione di questa tratta e la parte logistica corrispondente, occorrerà prendere dunque delle precauzioni per cui si rimanda alla relazione PRV\_C3A\_7610\_33-02-02\_10-07.

#### **4.4 Scavo rami del tunnel di base**

Lo scavo degli intertubi si fa principalmente all'esplosivo (salvo ultimi metri in rocce a probabile contenuto fibroso e nella tratta sotto il Cenischia (pk 57+400 a pk 55+950).

Nella tratta sotto il Cenischia, il terreno, di composizione ghiaioso-limosa, necessiterà un trattamento con iniezioni e jetting dalle canne del tunnel di base prima della rimozione dei rivestimenti. L'efficacia dell'intervento sarà verificata realizzando un piezometro spia prima della rimozione dell'anello.

#### **4.5 Sezioni in fase di cantiere**

La sezione del tunnel di base è principalmente realizzata in TBM o tradizionale (ad est del sito di Clarea). Il riempimento in parte bassa ed i marciapiedi di cantiere sono realizzati in parallelo allo scavo per questioni di planning.

Le fasi del riempimento sono:

- Riempimento provvisorio della parte bassa
- Camminamento pedonale
- Ventilazione
- Sottoservizi

I marciapiedi definitivi sono realizzati successivamente dal lotto impianti.

Dato che lo scavo si farà con TBM, un circuito specifico di raffreddamento della fresa dovrà essere installato nel paramento della galleria (vedi relazione ventilazione).

Il trasporto in galleria in fase cantiere si farà grazie ad un treno di servizio gommato che dovrà essere in misura di trasportare i conchi della TBM.

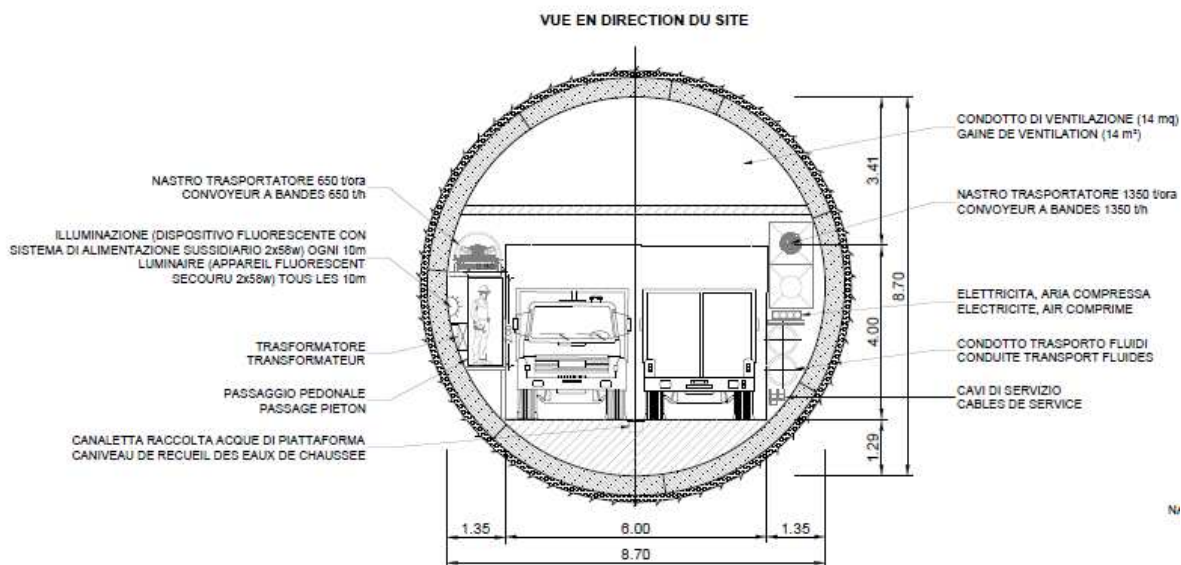
Data la larghezza limitata della platea, il camminamento per i pedoni dovrà essere disposto in sopraelevazione su una struttura prevista a questo scopo al fine di poter beneficiare della forma bombata del tunnel. Quest'ultimo sarà protetto da un parapetto composto da paletti, da un listello intermedio, da uno inferiore e da un mancorrente. L'insieme dovrà garantire la sicurezza del personale.

Per permettere la realizzazione dei rami, gli elementi e le reti logistiche posizionati dal lato di questi ultimi saranno sopraelevati o allora dovranno essere messi tutti dallo stesso lato. Si noterà che, per questo fatto, la posizione di questi elementi non sarà sullo stesso lato del tunnel per le due canne.

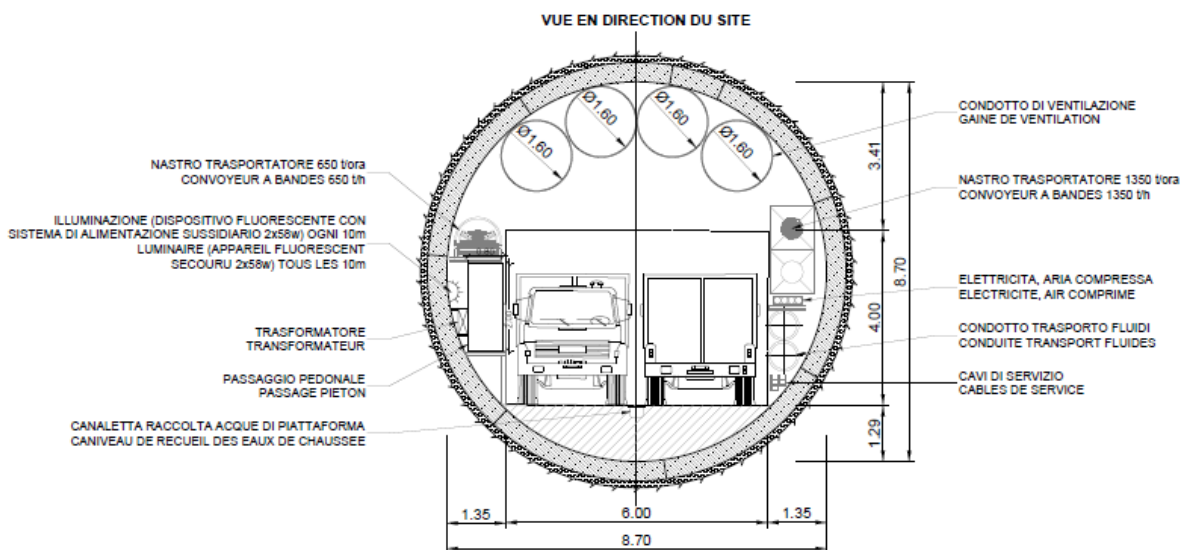
La galleria Maddalena 2 accoglie le installazioni necessarie all'approvvigionamento e all'evacuazione per i cantieri sotterranei. Comprende due sezioni diverse:

- Dall'imbocco fino all'inesto con la galleria di connessione 2, si raggruppano le installazioni necessarie sia all'approvvigionamento delle due TBM (si veda sotto) che all'approvvigionamento del cantiere dell'area di sicurezza di Clarea. Per quest'ultimo, un nastro trasportatore sarà disposto sullo stesso lato che il passaggio pedonale per lo smarino. Sarà separato di esso con una griglia. Questa tratta necessita la realizzazione di un setto di separazione per la ventilazione. Per non interferire con la logistica delle TBM, il setto viene costruito durante la fase in cui si ferma la TBM ;
- Dall'inesto con la galleria di connessione 2 fino al Tunnel di Base, si raggruppano le installazioni necessarie all'approvvigionamento delle due TBM. La ventilazione dei fronti di scavo viene realizzata con 4 condotti Ø1600mm e lo smarino con un nastro disposto sul lato opposto al passaggio pedonale.

**SEZIONE TIPO C-C, GALLERIA MADDALENA 2**  
**COUPE TYPE C-C, GALERIE MADDALENA 2**



**SEZIONE TIPO D-D, GALLERIA MADDALENA 2**  
**COUPE TYPE D-D, GALERIE MADDALENA 2**



**Figura 6: Sezione della galleria della Maddalena 2 in fase di cantiere**

## 5. Cadenze

### 5.1 Nastri trasportatori

Le cadenze dei nastri trasportatori da tenere in conto sono direttamente legati alle cadenze di scavo.

Si considerano dunque le cadenze più rapide, per ciascun metodo di scavo. Si noterà che lo scavo con TBM, essendo lineare e senza possibilità di stoccaggio, sarà dimensionante per i nastri trasportatori. Il metodo D&B permette lo stoccaggio tampone dei materiali scavati.

Le cadenza dimensionanti per modo di scavo sono le seguenti:

Metodo di scavo	Sezione dimensionante		Velocità massima (m/ora)	Cadenza massima (t/ora)
	Tipo	Superficie (m2)		
TBM	TM	78.00	5.50	1137

*Tabella 1 – Calcolo della cadenza massima per una tbm in t/ora*

Si ritiene un nastro di 1350 t/ora in ogni tubo del Tunnel di Base per lo scavo con TBM.

	Superficie (m2)	Numero fronte	Avanzamento (m/ora)	Cadenza (t/ora)	Pico (%)	Cadenza pico (t/ora)
TBM	78	2	2.0	827	30%	1075

*Tabella 2 – Calcolo della cadenza media di scavo per due tbm in t/ora*

Un solo nastro di 1350 t/ora permette lo smarino delle TBM verso Maddalena.

Metodo di scavo	Sezione dimensionante		Durata smarino (ora/volata)	Cadenza massima (t/ora)
	Tipo	Quantità (m3/volata)		
D&B	S1	306	3.20	253
D&B	A-S1	280	4.47	166
D&B	C-S1	410	6.53	166
TOTALE				586

*Tabella 3 – Calcolo delle cadenze medie di scavo in t/ora per 3 fronti in D&B*

Lo smarino dal cantiere sotterraneo di Clarea avviene con un nastro di capacità 650 t/ora che attraversa successivamente la galleria di connessione 2 e la galleria Maddalena 2. La capacità del nastro è stata verificata con un numero di fronti di scavo maggiore rispetto a quello ipotizzato in parallelo (3 fronti mentre sono previsti 2 fronti in parallelo).

La potenza installata richiesta sarà dell'ordine di:

- 5920 kW per ogni nastro nel Tunnel di Base;
- 1680 kW per il nastro di capacità 1350 t/ora in Maddalena 2 ;
- 820 kW per il nastro di capacità 650 t/ora (materiali di scavo) nelle gallerie di Maddalena 2 e di connessione 2
- 850 kW per ogni nastro di capacità 650 t/ora (approvvigionamento aggregati) nelle gallerie di Maddalena 1 e di connessione 1.

## 5.2 Treno di servizio

Per giustificare la compatibilità di questi treni, occorre dimensionare il tempo di un ciclo di trasporto del treno di servizio della TBM e compararlo al tempo stimato di ciclo della TBM. Il treno trasporta un anello completo di conci.

Calcolo di un ciclo medio di scavo con TBM, considerando a favore della sicurezza una velocità ridotta rispetto alla velocità indicata precedentemente:

	Unità	Quantità
Velocità media di scavo	m/h	0.75
Lunghezza dell'anello	m	1.8

*Tabella 4 – Ipotesi*

Funzione	Unità	Tempo stimato
Scavo	min	180.00
Posa conci	min	40.00
Pulizia e controllo	min	10.00
Efficienza 15 %	min	34.50
<b>TOTALE</b>	<b>min</b>	<b>264.50</b>

*Tabella 5 – Calcoli della durata necessaria ad un ciclo medio di scavo*

Il tempo stimato di un ciclo medio di scavo con TBM è da paragonare con il tempo di un ciclo di trasporto:

	Unités	Quantité
Lunghezza max del tunnel dall'imbocco	m	11 000
Velocità del treno	Km/h	30

*Tabella 6 – Ipotesi*

Funzione	Unità	Tempo stimato
Andata – ritorno del treno	min	44
Carico conci	min	25
Carico malta	min	5
Scarico conci e malta	min	10
Efficienza 15 %	min	13
<b>TOTALE</b>	<b>min</b>	<b>97</b>

*Tabella 7 – Calcoli della durata necessaria ad un ciclo di trasporto*

Nel caso di un ciclo medio di scavo, la durata necessaria al ciclo di trasporto del treno rimane inferiore alla durata del ciclo medio di scavo.

Il numero di treno si dimensionerà per l'avanzamento di picco, ovvero la consegna di 1 anello di conci per ora. Si constata dunque che la durata di un ciclo di trasporto non è compatibile. Bisognerà dunque prevedere delle aree di incrocio per esempio sopraelevando localmente il



piano di scorrimento (con rilevato provvisorio) e con scambio semplice destro (o sinistro) incurvato verso l'esterno.

Essendo i rami realizzati in parallelo al lavoro della TBM questo implica una sistemazione specifica in corrispondenza di ogni ramo. Per questo fatto sarà preferibile installare due binari nel tunnel, con deviazione del traffico su un binario in corrispondenza dell'atelier di scavo dei rami.

Nel caso di utilizzo di treni gommati, si disporrà una piattaforma specifica di incrocio in corrispondenza di ogni ramo. Potrà essere realizzata in pietrisco e sarà provvista di rampa d'accesso.

## **6. Trasporto dei materiali e del personale**

### **6.1 Smarino**

La risalita dello smarino in superficie si farà attraverso la galleria Maddalena 2<sup>ia</sup> nastro trasportatore. La capacità di quest'ultima è direttamente funzione della velocità di avanzamento del fronte di scavo .

Nel caso di scavo di tipo D&B, lo smarino dovrà essere in un primo tempo portato dal fronte verso la caverna tecnica. E' possibile per questo utilizzare delle pale meccaniche gommate di capacità 6 m<sup>3</sup> ciascuna. Uno stoccaggio tampone sarà creato nella caverna tecnica. Una pala caricatrice riprenderà i materiali così stoccati in modo di alimentare un frantumatore mobile primario posizionato all'inizio del nastro trasportatore. Questo frantumatore dovrà permettere di ottenere dei materiali di granulometria di tipo 0/250mm, corrispondente alle limitazioni tecniche dei nastri trasportatori. Nel caso in cui l'altezza della tramoggia di carico non è accessibile alla pala caricatrice, si dovrà realizzare una rampa di accesso.

Questa metodologia permetterà se non altro di limitare lo stoccaggio tampone in sotterraneo al suo minimo.

Un trattamento secondario sarà effettuato nella zona di cantiere esterna di Salbertrand (frantumazione, vagliatura, ecc.). I materiali così ottenuti saranno riutilizzati e/o messi in stoccaggio definitivo. In effetti, tutti i materiali provenienti dallo scavo e che non potranno essere né rivenduti né riutilizzati dovranno essere portati verso il sito di deposito definitivo.

### **6.2 Materiali per cls**

Il cls è un materiale essenziale alla realizzazione del cantiere, lo si utilizza sotto varie forme :

- Cls proiettato
- Cls (armato o non armato) per i rivestimenti definitivi in tradizionale
- Cls prefabbricato per l'impianto di prefabbricazione dei conci

Allo scopo di minimizzare l'impatto del transito del personale e degli impianti, una centrale di betonaggio è prevista nella galleria intertubo.

Si noterà che durante la fase transitoria, che precede l'installazione della centrale sotterranea, il cls potrà essere fabbricato a partire dalla centrale situata nell'area di cantiere in superficie e poi trasportato nel fondo con autobetoniere.

La capacità di produzione della centrale di betonaggio deve essere in misura di rispondere alle esigenze massime di produzione legate alla realizzazione dei rivestimenti definitivi.

Dovrà parimenti permettere la proiezione del cls garantendo una velocità di fabbricazione adattata ai tassi di scavo del cantiere in D&B.

### 6.3 Altri materiali

L'insieme dei materiali ed attrezzature necessarie ai lavori di sostegno e di scavo saranno trasportati via camion dalla superficie fino all'area di sicurezza o direttamente nel caso di mezzi gommati o cingolati.

Questi materiali sono in particolare:

- Acciaio per cls armato
- Ancoraggi (bulloni di acciaio o bulloni in VTR) per il sostegno dello scavo
- Centine metalliche per il sostegno dello scavo
- Tubi PVC per il drenaggio e le canalizzazioni
- PVC per l'impermeabilizzazione delle gallerie
- Cemento
- Sabbia
- ...

I mezzi di trasporto transiteranno dalla galleria della Maddalena e dovranno perciò rispettare la sagoma massima imposta.

Varie aree di stoccaggio sono previste nella galleria tecnica in fase cantiere.

### 6.4 Trasporto del personale

Data l'assenza di rotaie nell'area in fase cantiere si procederà al trasporto del personale sia con il treno di servizio su gomma sia con veicoli leggeri.

## 7. Evacuazione delle acque di infiltrazione

La tabella seguente riassume le venute d'acqua massime che sono evacuate all'imbocco delle gallerie Maddalena 1 e 2.

	<b>Portata (L/s)</b>	<b>Portata stabilizzata</b>
Galleria Maddalena 1	75	Si
Galleria di connessione 1	15	Si
Area di sicurezza di Clarea	30	No
Galleria di connessione 2	6	Si
Galleria Maddalena 2	29	Si
TdB BP (parte scavata con TBM)	40	No
TdB BD (parte scavata con TBM)	40	No
TdB BP (parte scavata in D&B)	25	No
TdB BD (parte scavata in D&B)	5	Si
Evento al fronte	80	
<b>TOTALE CANTIERE MADDALENA</b>	<b>345</b>	

*Tabella 7 – Venute d'acqua in fase di cantiere (scenario critico)*

In fase definitiva, le acque sono evacuate senza pompaggio all'imbocco Est del Tunnel di Base e all'imbocco delle gallerie 1 e 2 (solo per la parte ascendente).